

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 87107712.9

51 Int. Cl. 4: **B23K 26/02**

22 Anmeldetag: 27.05.87

30 Priorität: 11.07.86 DE 3623409

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.01.88 Patentblatt 88/02

84 Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR GB IT NL SE

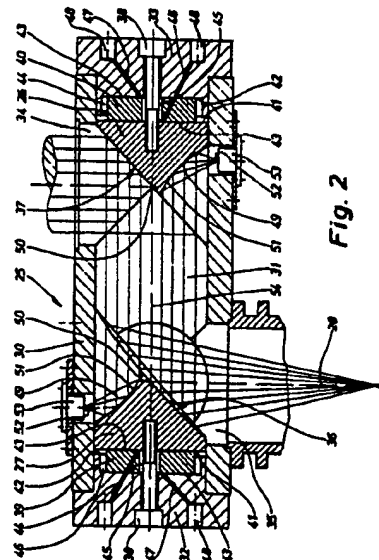
71 Anmelder: BIAS Forschungs- und
Entwicklungslabor für angewandte
Strahltechnik
Ermlandstrasse 59
D-2820 Bremen 71(DE)

72 Erfinder: Jüptner, Werner, Dr.-Ing.
Grosse Loge 8
D-2863 Ritterhude(DE)
Erfinder: Rothe, Rüdiger, Dr.-Ing.
Wilde Rodung 4a
D-2820 Bremen 70(DE)
Erfinder: Sepold, Gerd, Dr.-Ing.
Moosbeerweg 22
D-2903 Bad Zwischenahn(DE)

74 Vertreter: Bolte, Erich, Dipl.-Ing. et al
c/o Meissner, Bolte & Partner Patentanwälte
Hollerallee 73
D-2800 Bremen 1(DE)

54 Verfahren zur Überwachung des Bearbeitungsprozesses mit einer Hochleistungsenergiequelle, insbesondere einem Laser, und Bearbeitungsoptik zur Durchführung desselben.

57 Die Bearbeitungsergebnisse von Hochleistungslasern mit Bearbeitungsoptiken (25) zur Strahlformung hängen davon ab, daß ausschlaggebende Bearbeitungsgrößen, nämlich die Strahlleistung, der Strahldurchmesser, die Lage des Strahls relativ zur optischen Achse (54) und die Intensität der rückfleckierten Strahlung überwacht werden. Zu diesem Zweck schlägt die Erfindung ein Verfahren vor, mit dem direkt an einer entsprechend erfindungsgemäß ausgestalteten Bearbeitungsoptik (25) die wesentlichen Strahlgrößen während der Bearbeitung gemessen werden können. Dazu sind die entsprechenden Meßwertaufnehmer erfindungsgemäß dem Umlenkspiegel (26) und/oder dem Fokussierspiegel (27) der Bearbeitungsoptik (25) zugeordnet.



Verfahren zur Überwachung des Bearbeitungsprozesses mit einer Hochleistungsenergiequelle, insbesondere einem Laser, und Bearbeitungsoptik zur Durchführung desselben

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung des Bearbeitungsprozesses mit einer Hochleistungsenergiequelle, insbesondere einem Laser, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Bearbeitungsoptik zur Durchführung des Verfahrens, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 9.

Hochleistungsenergiequellen, und zwar insbesondere Elektronenstrahlen oder fokussierte Laserstrahlen (CO₂-Laser) die zur Materialbearbeitung, nämlich Schneiden, Schweißen und Oberflächenveredeln eingesetzt werden, verfügen über entsprechende strahlführende Optiken, welche an die jeweilige Bearbeitungsaufgabe angepaßt sind. In diesem Zusammenhang kommt es besonders auf die Bearbeitungsoptik des Lasers an, die wesentlichen Einfluß an der Qualität der durchzuführenden Bearbeitung hat. Um während der gesamten Bearbeitung eine möglichst gleichbleibende, optimale Bearbeitungsqualität zu gewährleisten, ist es erforderlich, den Bearbeitungsvorgang am Werkstück konstant zu halten.

Zu diesem Zweck sind die ausschlaggebenden Strahlgrößen die Strahlleistung, der Strahldurchmesser, die Lage des Strahls und die zurückreflektierte Strahlung, die während der Bearbeitung zeitlichen Schwankungen unterliegen können und daher berücksichtigt werden müssen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Bearbeitungsoptik zur Überwachung des Bearbeitungsprozesses eines Hochleistungslasers (CO₂-Laser) anzugeben, wodurch sich die wesentlichen Einflußgrößen auf die Qualität der Materialbearbeitung ermitteln lassen.

Zur Lösung dieser Aufgabe hinsichtlich des Verfahrens dienen die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1. Dadurch, daß während der Materialbearbeitung die maßgeblichen Einflußgrößen des Laserstrahls gemessen werden, wird die Möglichkeit zur umfassenden integrierten Prozeßüberwachung geschaffen; und zwar dort, wo die Messung nicht nur komplett, sondern auch am einfachsten und zuverlässigsten durchführbar ist, nämlich an der Bearbeitungsoptik. Dieses hat auch Vorteile, wenn der Laser für andere Bearbeitungen eingesetzt werden soll, die keine Bearbeitungsoptik oder eine andere Bearbeitungsoptik erfordern, weil dann nämlich die in solchen Fällen nicht mehr notwendigen, empfindlichen Meßinstrumente nicht mehr ungenutzt am Gerät verbleiben müssen.

Zweckmäßigerweise erfolgt an der Bearbeitungsoptik die Messung der für die Leistung des Laserstrahls, die Position desselben zur optischen Achse, des Durchmessers des Laserstrahls, des

Verschmutzungsgrades der Spiegel (Umlenkspiegel, Fokussierspiegel) und der zurückreflektierten Laserstrahlung erforderliche Größen durch entsprechend gestaltete Meßwertaufnehmer bzw. -umformer. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Messung der vorstehend genannten Einflußgrößen kumulativ.

Durch entsprechende Umformung der Meßergebnisse ist es möglich, diese direkt entsprechenden Stellantrieben etc. zuzuleiten, die - bei Abweichungen vom Sollwert - entsprechende Korrekturen an der Strahlführung des Lasers vornehmen. Weitere Unteransprüche beziehen sich auf die Verfahren zur Ermittlung der jeweiligen Meßwerte.

Zur Lösung der Aufgabe in bezug auf die Bearbeitungsoptik dient das kennzeichnende Merkmal des Anspruchs 9. Durch die Zuordnung entsprechender Meßumformer (Detektoren) zu dem Umlenkspiegel und dem Fokussierspiegel der Bearbeitungsoptik erfolgt ein Abgreifen der Meßgrößen unmittelbar dort, wo eventuelle Abweichungen zustandekommen können und ein Einfluß auf dieselben ggf. auszuüben ist. Darüber hinaus werden störende Meßeinbauten in der Bearbeitungsoptik vermieden.

Weitere der Unteransprüche zu entnehmende Merkmale in bezug auf die erfindungsgemäße Bearbeitungsoptik betreffen die konstruktive Ausbildung der Meßwertaufnehmer bzw. -umformer am Umlenkspiegel und Fokussierspiegel zur Ermittlung der speziellen Meßwerte.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 den schematischen Aufbau einer Laser-Bearbeitungsvorrichtung in perspektivischer Darstellung,

Fig. 2 einen vertikalen Längsschnitt durch eine Bearbeitungsoptik gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels,

Fig. 3 eine Seitenansicht eines umliegenden Spiegels mit einem vertikal geschnittenen Gehäusedeckel und einem dazwischen angeordneten Wärmewiderstand,

Fig. 4 eine Querschnitt durch die Bearbeitungsoptik gemäß der Fig. 2 in der Ebene dreier dem Umlenkspiegel zugeordneten Detektoren,

Fig. 5 einen vertikalen Längsschnitt durch eine Bearbeitungsoptik eines zweiten Ausführungsbeispiels,

Fig. 6 einen Schnitt VI-VI durch die Bearbeitungsoptik gemäß Fig. 5,

Fig. 7 eine Ansicht in Richtung des Pfeils VII auf die Spiegelfläche des Umlenkspiegels,

Fig. 8 einen Umlenkspiegel mit auf der Spiegelfläche angeordneten Sensoren,

Fig. 9 eine Draufsicht auf die Spiegelfläche des Umlenkspiegels gemäß der Fig. 8,

Fig. 10 eine vergrößert dargestellte Einzelheit X des im Bereich eines Sensors geschnittenen Umlenkspiegels gemäß der Fig. 8, und

Fig. 11 eine alternative Ausführungsform zur Anordnung der Sensoren auf der Spiegelfläche des Umlenkspiegels in einer Darstellung gemäß der Fig. 10.

Aus der Fig. 1 geht anschaulich der prinzipielle Aufbau eines Lasers zur Verwirklichung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit der erfindungsgemäßen Bearbeitungsoptik hervor. Als Energiequelle dient hier ein Hochleistungslaser, nämlich ein CO₂-Laser 20. Am Strahlenausgang des CO₂-Lasers 20 befindet sich ein Teleskop 21. Letzteres ist über ein (horizontales) Schutzrohr 22 mit einer Strahlenumlenkoptik 23 verbunden. Durch diese wird der durch das Schutzrohr 22 kommende Laserstrahl aus der horizontalen in eine vertikale Strahlrichtung umgelenkt. Von der Strahlumlenkoptik 23 gelangt der Laserstrahl schließlich durch ein weiteres (vertikales) Schutzrohr 24 zu der Bearbeitungsoptik 25.

Wie die Fig. 2 und 5 zeigen, ist die Bearbeitungsoptik 25 derart ausgebildet, daß der Laserstrahl in ihr zweimal umgelenkt wird, und zwar durch einen Umlenkspiegel 26 von einer vertikalen in eine horizontale Strahlrichtung und von dieser wiederum durch einen Fokussierspiegel 27 in eine dazu rechtwinklige Austrittsrichtung des Laserstrahls aus der Bearbeitungsoptik.

Den Fig. 2 und 5 ist weiterhin zu entnehmen, daß der Laserstrahl als fokussierter Laserstrahl 28 die Bearbeitungsoptik 25 in vertikaler Richtung verläßt. Mit einem derart fokussierten Laserstrahl 28 lassen sich sowohl Schneid-, Schweiß- als auch Oberflächenveredelungsbearbeitungen an einem Werkstück 29 (Fig. 1) durchführen.

Schließlich kann den Fig. 2 und 5 noch der Aufbau der Bearbeitungsoptik 25 entnommen werden. Demnach verfügt diese über ein längliches, horizontal liegendes Gehäuse 30 mit einem quadratischen Querschnitt. Im Gehäuse 30 ist mittig eine längsgerichtete, kreisrunde Durchgangsbohrung 31 angeordnet. Die gegenüberliegende Stirnseite des Gehäuses 30 sind durch jeweils einen flanschartig ausgebildeten Deckel 32 bzw. 33 verschlossen.

Das Gehäuse 30 weist mindestens zwei Öffnungen in seinen Wandungen auf, und zwar eine obere Eintrittsöffnung 34 für den von der Strahlumlenkoptik 23 kommenden Laserstrahl und eine Austrittsöffnung 35 zum Austritt des fokussierten Laserstrahls 28 aus der Bearbeitungsoptik 25.

Im Gehäuse 30 der Bearbeitungsoptik 25 sind auch die zur Umlenkung des Laserstrahls erforderlichen Spiegel angeordnet. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Eintrittsöffnung 34 der zylindrisch ausgebildete Umlenkspiegel 26 mit einer unter 45° geneigten, planen Spiegelfläche 36 zugeordnet. Diese lenkt den vertikal in die Bearbeitungsoptik 25 eintretenden Laserstrahl auf einen horizontal zum Fokussierspiegel 27 weiterlaufenden Laserstrahl um. Der ebenfalls zylindrische Fokussierspiegel 27 ist an der dem Umlenkspiegel 26 gegenüberliegenden Seite im Gehäuse 30 angeordnet und verfügt über eine ebenfalls unter 45° verlaufende, aber rotationssymmetrisch konkav ausgebildete Spiegelfläche 37.

Befestigt sind die zentrisch im Gehäuse 30 geführten Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) durch jeweils eine (zentrische) Gewindeschraube 38 an dem jeweils dazugehörenden Deckel 32 bzw. 33.

Erfindungsgemäß ist jedem Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) ein Wärmewiderstand 39 bzw. 40 zugeordnet. Der Wärmewiderstand 40 ist zwischen dem Umlenkspiegel 26 und dem letzteren zugeordneten Deckel 33 angeordnet, und zwar unter Anlage auf der ebenen, aufrechten Rückseite 41 des Umlenkspiegels 26 einerseits und der zu denselben gerichteten inneren Stirnseite 42 des Deckels 33 andererseits. Dementsprechend ist der Umlenkspiegel 40 als kreisrunde Scheibe mit parallelen, aufrechten Kontaktflächen 43 ausgebildet. Durch eine entsprechend im Durchmesser bemessene Ausnehmung 44 im Deckel 33 und eine ausreichend große Durchgangsbohrung 45 in der Mitte des Wärmewiderstandes 40 ist sichergestellt, daß dieser an den Mantelflächen keinerlei Kontakt zum Deckel 33 bzw. zur Gewindeschraube 38 erhält. Dadurch liegen lediglich die Kontaktflächen 33 des Wärmewiderstandes 40 an der Rückseite 41 des Umlenkspiegels 26 und der inneren Stirnseite 42 des Deckels 33 an.

Schräg durch den Deckel 33 und durch den Wärmewiderstand 40 verläuft eine dünne Bohrung 46, die in der zum Umlenkspiegel 26 hinggerichteten Kontaktfläche 43 desselben mündet. Eine weitere - schräggerichtete Bohrung 47 im Deckel 33 mündet vor der zu demselben gerichteten (äußeren) Kontaktfläche 43 des Wärmewiderstandes 40. Die zur Außenseite des Deckels 33 gerichteten Enden der Bohrungen 46 und 47 sind mit Fräsmachungen 48 versehen. Auf diese Weise lassen sich im Deckel

33 entsprechende Detektoren (in den Fig. 2 und 3 nicht gezeigt) unterbringen, und zwar derart, daß ihre Fühlerspitzen unter Anlage an der Rückseite 41 des Umlenkspiegels 26 einerseits und der (äußeren) Kontaktfläche 43 des Wärmewiderstandes 40 andererseits münden. Die Detektoren bzw. die Fühlerspitzen derselben sind vorzugsweise als an sich bekannte Thermoelemente ausgebildet.

In analoger Weise ist der Wärmewiderstand 39 ausgebildet und hinter dem Fokussierspiegel 27 angeordnet, wobei auch hier entsprechende Bohrungen 46 und 47 für die Zuordnung von Fühlerspitzen entsprechender Detektoren zur Rückseite 41 des Fokussierspiegels 27 und zur Kontaktfläche 43 des Wärmewiderstandes 39 vorgesehen sind.

Die Wärmewiderstände 39 und 40 dienen zur Messung der Strahlleistung sowie des Verschmutzungsgrades des Fokussierspiegels 27. Dabei wird von der Erkenntnis ausgegangen, daß eine nennenswerte Verschmutzung der Bearbeitungsoptik 25 nur am Fokussierspiegel 27, nämlich auf der Spiegelfläche 37 desselben erfolgt, weil nur der oberhalb des Werkstücks 29 liegende Fokussierspiegel 27 negativen Einflüssen infolge der Werkstückbearbeitung ausgesetzt ist. Demgegenüber ist mit einer Verschmutzung des geschützt in der Bearbeitungsoptik 25 liegenden Umlenkspiegels 26 nicht zu rechnen. Der Verschmutzungsgrad des Fokussierspiegels 27 ergibt sich daher aus einer Differenzmessung zwischen den Temperaturen am Umlenkspiegel 26 und am Fokussierspiegel 27. Zu diesem Zweck weisen beide Wärmewiderstände 39 und 40 gleichen Querschnitt, gleiche Dicke und gleiche Wärmedurchgangszeit auf.

Die Strahlleistung wird am Umlenkspiegel 26 gemessen, und zwar durch Ermittlung des Temperaturgradienten zwischen der zur Rückseite 41 des Umlenkspiegels 26 gerichteten Kontaktfläche 43 des Wärmewiderstandes 40 einerseits und zur gegenüberliegenden, zur inneren Stirnseite 42 des Deckels 33 gerichteten Kontaktfläche 43 des Wärmewiderstandes 40, einen sich proportional mit der Strahlleistung ändernden Meßwert, wodurch infolge Multiplikation mit einem entsprechenden Übertragungskoeffizienten aus dem Temperaturgradienten unmittelbar die auf den Umlenkspiegel 26 auftreffende Strahlleistung ermittelt werden kann.

Den Fig. 2 und 4 kann entnommen werden, daß sowohl im Umlenkspiegel 26 als auch im Fokussierspiegel 27 radialgerichtete Schlitze 49 angeordnet sind. Diese durchbrechen die entsprechenden Spiegelflächen 36 bzw. 37 sowie die zylindrische Mantelfläche der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) in schmalen, länglichen Bereichen. Die Schlitze 49

sind symmetrisch in bezug auf Spiegelflächen 36 und 37 der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) verteilt. Im vorliegenden Falle sind drei um jeweils 120° zueinander versetzte Schlitze 49 vorgesehen (Fig. 4). Die von der Mantelfläche der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) ausgehenden Schlitze 49 sind allesamt auf den Mittelpunkt 50 der Spiegelflächen 36 bzw. 37 gerichtet und enden ohne sich zu berühren mit geringfügigem Abstand von demselben. Falls eine größere Auflösung der Meßergebnisse gefordert sein sollte, ist es denkbar, mehrere, insbesondere vier - dann um 90° zueinander versetzte - Schlitze 49 in den Spiegeln (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) vorzusehen. Die Breite der Schlitze 49 ist derart gewählt, daß diese größer als die Wellenlänge des Lasers ist, beispielsweise 0,4 mm. Dadurch wird sichergestellt, daß durch in infolge der Schlitze 49 entstehende Verringerung der effektiven Spiegelfläche 36 bzw. 37 vernachlässigbar klein ist, das heißt die effektive Laserleistung durch die im Bereich der Schlitze 49 ausgeblendeten Bereiche des Laserstrahls kaum ins Gewicht fällt.

Die Schlitze 49 gehen in bezug auf ihre Tiefe nicht bis zu den Rückseiten 41 der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) durch. Die dadurch entstehende Schlitzunterseite 51 ist gewölbt ausgebildet, und zwar derart, daß die in die Schlitze 49 von der Spiegelfläche 36 bzw. 37 aus eintretenden Bereiche des in Längsrichtung zur Achse der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) gerichteten Laserstrahls an den Schlitzunterseiten 51 um annähernd 90° radial nach außen umgelenkt und fokussiert werden. Dadurch liegen die Fokuspunkte 52 der in die Schlitze 49 eintretenden und an den Schlitzunterseiten 51 umgelenkten Bereiche des Laserstrahls mit Abstand von der Mantelfläche außerhalb der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27).

Des weiteren wird durch diese Ausbildung der Schlitze 49 erreicht, daß nur Teilbereiche der in Längsrichtung der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) einfallenden Laserstrahlen auf die Schlitzunterseiten 51 fallen, also quergerichtete Laserstrahlen die Schlitze 49 nicht beeinflussen.

Alternativ zu Schlitzen 49 können auch entsprechende gegenüber den Spiegelflächen 36, 37 vorstehende Segmente zur Hinleitung der zur Messung bestimmten Bereiche des Laserstrahls an den Spiegeln (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) angeordnet sein.

Jedem der Fokuspunkte 52 ist ein Detektor 53 zugeordnet, der mit radialem Abstand von den Spiegeln (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) im Gehäuse 30 der Bearbeitungsoptik 25 gelagert

ist. Die Detektoren 53 sind vorzugsweise als Thermosäule handelsüblicher Bauart ausgebildet, die eine optimale Umsetzung der in die Schlitze 49 einfallenden Infrarot-Signale gestatten.

Mit Hilfe der vorstehend beschriebenen (Detektions-)Schlitze 49 in den Spiegeln (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) und der Detektoren 53 ist es möglich, den Durchmesser des Laserstrahls und seine Lage in bezug auf die optische Achse 54 (Längsmittelachse der Spiegel) der Bearbeitungsoptik 25 zu ermitteln. Zur Erfüllung der erstgenannten Meßaufgabe erfolgt eine Addition der Meßsignale der dem Fokussierspiegel 27 zugeordneten Detektoren 23, also eine Auswertung der durch die Schlitze 49 im Fokussierspiegel 27 eintretenden Laserstrahlen. Da aus der anfangs beschriebenen Messung der Gesamtstrahlleistung die Leistungsflußdichte des Laserstrahls - die in bezug auf den Querschnitt des Laserstrahls konstant ist - bestimmt werden kann, kann aus diesem Wert unter Berücksichtigung der Abmessungen der Schlitze 49, der Anzahl derselben und der Meßergebnisse an den Detektoren 53 bei einem kreisrunden Laserstrahl, der Strahldurchmesser ermittelt werden.

Zur zweiten Meßaufgabe, nämlich der Bestimmung der Lage des Laserstrahls relativ zur optischen Achse 54, dienen ebenfalls die dem Fokussierspiegel 27 zugeordneten Schlitze 49 bzw. Detektoren 53. Allerdings erfolgt hier die Auswertung nicht durch eine Summierung der Meßergebnisse an den einzelnen Detektoren 53; vielmehr wird die Relativlage des Laserstrahls durch Differenzmessungen der in den (Infrarot-)Detektoren 53 einfallenden Leistung ermittelt, indem man den Schwerpunkt des Laserstrahls bezüglich der optischen Achse 54 ermittelt. Bei drei Schlitzen 49 auf der Spiegelfläche 36 des Fokussierspiegels 27 erhält man den Schwerpunkt des Laserstrahls durch Auswertung unter Zugrundelegung eines Polarkoordinatensystems. Hingegen kann bei Verwendung von vier Schlitzen die Auswertung in einem kartesischen Koordinatensystem erfolgen.

Schließlich kann mit Hilfe der (Detektions-)Schlitze 49 auch noch die vom Werkstück 29 zurückreflektierte Laserstrahlung ermittelt werden. Zu diesem Zweck dienen die im Umlenkspiegel 26 angeordneten Schlitze 49 und die denselben zugeordneten Detektoren 53. Aufgrund der am Umlenkspiegel 26 erhaltenen Meßergebnisse können Rückschlüsse auf die Einkopplung des Laserstrahls am Werkstück 29 gezogen werden. Beispielsweise läßt sich so eine Schweißnaht finden bzw. verfolgen, indem der Bearbeitungsoptik 25 entsprechende Stellantriebe zugeordnet werden, die in Abhängigkeit vom Meßergebnis am Umlenkspiegel 26 die Bearbeitungsoptik 25 relativ zum Werkstück 29 verfahren, bis die rückgestrahlten Laserstrahlen

ein Minimum erreicht haben, welches ein Indiz dafür ist, daß ein Optimum der Laserstrahlung vom Werkstück 29 absorbiert wird, also die Schweißnaht oder dergleichen gefunden worden ist.

Die Fig. 5 bis 7 zeigen eine alternative Ausführungsform einer Bearbeitungsoptik 25, bei der zur Messung der Strahlposition, des Strahldurchmessers und der zurückreflektierten Laserstrahlen anstelle der im vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel vorhandenen Schlitze 49 eine Vielzahl rasterartig auf den Spiegelflächen 36 bzw. 37 der Spiegel verteilte Bohrungen vorgesehen sind. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Bohrungen ausschließlich im Umlenkspiegel 26 angeordnet, und zwar als parallel zur Längsmittellinie derselben verlaufende Durchgangsbohrungen 55 und quer dazu verlaufende Durchgangsbohrungen 56. Die Durchgangsbohrungen weisen zur Spiegelfläche 37 einen sehr geringen Durchmesser, nämlich etwa nur 0,5 mm auf. Zur Rückseite des Umlenkspiegels 26 hin nehmen die Durchmesser der Durchgangsbohrungen 55 bzw. 56 zu, und zwar stufenförmig.

Der Fig. 7 ist zu entnehmen, nach welchem Raster die Durchgangsbohrungen 55 und 56 auf die Spiegelfläche 37 des Umlenkspiegels 26 verteilt sind. Demnach sind hier insgesamt 24 Durchgangsbohrungen vorgesehen, nämlich 12 (horizontale) Durchgangsbohrungen 55 und ebenfalls 12 (vertikale) Durchgangsbohrungen 56. Diese sind auf vier horizontale Reihen 54 und sieben vertikale Reihen 57 bzw. 58 über eine um zwei verringerte Anzahl von Durchgangsbohrungen 55 bzw. 56 verfügen. In der Fig. 7 ist durch Teilenschwärzung der Durchgangsbohrungen 55 bzw. 56 angedeutet, ob diese zu einem vertikalen bzw. horizontalen Meßstrang vereinigt sind. Demnach bilden die ungeschwärzten Durchgangsbohrungen 55 bzw. 56 die horizontalen Meßstränge, während die halbgeschwärzten Durchgangsbohrungen 55 bzw. 56 die vertikalen Meßstränge bilden. Hieraus wird ersichtlich, daß drei vertikale Meßstränge und vier horizontale Meßstränge im vorliegenden Ausführungsbeispiel vorgesehen sind.

Der Fig. 5 ist wiederum die Zuordnung von Detektoren 59 zu den Durchgangsbohrungen 55 bzw. 56 zu entnehmen. Demnach sind die horizontalen Durchgangsbohrungen 55 bereichsweise im Deckel 33 weitergeführt und durch eine quer dazu gerichtete Bohrung 60 verbunden. Diese dient zur Unterbringung eines oder mehrerer geeigneter Detektoren, beispielsweise aus Draht bestehende Widerstandsthermometer. Diese können entweder über den gesamten Meßstrang (Reihe 58) durchgehend verlaufen, können aber auch mittels geteilt sein, so daß je dem Meßstrang (Reihe 58) zwei Detektoren 59 in Form von Widerstandsthermometern zugeordnet sind. In analoger Weise können

die Detektoren 61 aus bildet sein, nämlich auch als Widerstandsthermometer, die in quer zu den vertikalen Durchgangsbohrungen 56 verlaufenden Bohrungen 62 im Gehäuse 30 der Bearbeitungsoptik 25 untergebracht sind.

Die Messung des Durchmessers und der Lage des ankommenden Laserstrahls am Umlenkspiegel 26 erfolgt unter Zuhilfenahme der vertikalen Durchgangsbohrungen 56, während die Messung der Lage, der Leistung - und ggf. des Durchmessers - des vom Werkstück 29 zurückreflektierten Laserlichtes unter Zuhilfenahme der horizontalen Durchgangsbohrungen 55 erfolgt. Die Auswertung der an den Detektoren 59 bzw. 61 erhaltenen Meßergebnisse erfolgt hier in ähnlicher Weise wie beim vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel mit in den Spiegeln (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) angeordneten (Detektions-)Schlitzen 49.

Alternativ können die Durchgangsbohrungen 55 und 56 auch bei dieser Ausführungsform der erfindungsgemäßen Bearbeitungsoptik 25 auf den Umlenkspiegel 26 und den Fokussierspiegel 27 verteilt sein, so daß jeder Spiegel dann nur noch entweder über vertikale oder horizontale Durchgangsbohrungen verfügen würde.

Die Fig. 8 bis 11 zeigen ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Bearbeitungsoptik 25, bei der unmittelbar auf der Spiegelfläche 37 des Umlenkspiegels 26 absorbierende Sensoren 63 angeordnet sind. Die Sensoren 63 können in der den Fig. 8 - 10 zu entnehmenden Ausführungsform als drahtförmige Widerstandsthermometer ausgebildet sein. Den Verlauf der hier auf der Spiegelfläche 37 des Umlenkspiegels 26 angeordneten Sensoren 63 kann der Fig. 9 entnommen werden. Demnach sind gleichmäßig auf der Spiegelfläche 37 verteilt vier Sensoren 63 aus U-förmig gewundenem Draht radialverlaufend angeordnet und zwar ohne sich im Mittelpunkt 50 der Spiegelfläche 37 zu treffen.

Der Fig. 10 ist die Anbringung der Sensoren 63 auf der Spiegelfläche 37 des Umlenkspiegels 26 zu entnehmen. Dazu sind auf der Spiegelfläche 37 etwa halbkreisförmige Ausnehmungen 64 für die Sensoren 63 angeordnet, die zum Großteil mit einem Isolator 65 ausgefüllt sind, indem jeweils ein Draht für den Sensor 63 derart eingebettet ist, daß die Spiegelfläche 37 trotz der darauf angeordneten Sensoren 63 plan bleibt. Die Isolator 65 besteht vorzugsweise aus einem Kleber zur dauerhaften Fixierung des Drahts für die Sensoren 63 in den Ausnehmungen 64 des Umlenkspiegels 26.

Eine alternative Ausführungsform der Anbringung der Sensoren 63 auf der Spiegelfläche 37 des Umlenkspiegels 26 zeigt die Fig. 11. Hier sind die Sensoren 63 - die ebenfalls den in der Fig. 9 gezeigten Verlauf haben können - ebenfalls auf der

Spiegelfläche 37 angeordnet. Dazu sind die Sensoren 63 aus einem dünnen, schichtförmigen Leiter gebildet, der durch eine Isolationsschicht 66 mit der Spiegelfläche 37 verbunden ist. Derartige Sensoren 63 können beispielsweise durch Aufdampfen auf die Spiegelfläche 37 des Umlenkspiegels 26 hergestellt werden.

10 Ansprüche

1. Verfahren zur Überwachung des Bearbeitungsprozesses mit einer Hochleistungsenergiequelle, insbesondere einem Laser (20), bei dem ein zur Materialbearbeitung (Schneiden, Schweißen, Oberflächenveredeln) dienender (Laser-)Strahl durch eine Bearbeitungsoptik (25) geleitet wird, dadurch gekennzeichnet, daß während der Materialbearbeitung an der Bearbeitungsoptik (25) die maßgeblichen Strahlgrößen, insbesondere die Strahlführung und -geometrie gemessen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an der Bearbeitungsoptik (25) die Leistung, die Position und/oder der Durchmesser eines (Laser-)Strahls bzw. die rückreflektierte (Laser-)Strahlung und/oder der Verschmutzungsgrad von Spiegeln (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) gemessen werden, insbesondere kumulativ.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Leistung des (Laser-)Strahls der Temperaturgradient wenigstens eines Spiegels (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) längs einer definierten Meßstrecke mit definiertem Querschnitt ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Verschmutzungsgrad der Bearbeitungsoptik (25), insbesondere des Fokussierspiegels (27), durch eine Differenzmessung der Temperaturen zwischen zwei Spiegeln (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) gemessen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Messung des Durchmessers und/oder der Lage des (Laser-)Strahls ausgewählte Teilbereiche insbesondere aus der Spiegelfläche (36, 37) der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) ausgeblendete Bereiche des (Laser-)Strahls auf entsprechende Detektoren (53, 59, 61) geleitet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistung der auf die zur Messung ausgewählten Teilbereiche einfallenden Bereiche des (Laser-)Strahls durch die Detektoren (53, 59, 61) in auswertbare Meßsignale umgesetzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Summierung der an den Detektoren (53, 59, 61) gemessenen (Laser-)Leistung der Durchmesser des (Laser-)Strahls ermittelt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Differenzbildung zwischen den in einer Linie auf gegenüberliegenden Seiten eines (mittigen) Bezugspunktes (Mittelpunkt 50) des Spiegels (Umlenkspiegel 26, Fokussierspiegel 27) an den Detektoren (53, 59, 61) gemessenen (Laser-)Leistung die Lage des (Laser-)Strahls relativ zu dem Bezugspunkt (Mittelpunkt 50) ermittelt wird.

9. Bearbeitungsoptik zur Überwachung des Bearbeitungsprozesses einer Hochleistungsenergiequelle, insbesondere eines Lasers (20), mit einem Umlenkspiegel (26) und einem Fokussierspiegel (27) für einen (Laser-)Strahl, die in einem gemeinsamen Gehäuse (30) justierbar angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß dem Umlenkspiegel (26) und dem Fokussierspiegel (27) Meßwertaufnehmer (Schlitze 49; Durchgangsbohrungen 55, 56; Sensoren 63) für die zur Überwachung erforderlichen Einflußgrößen des (Laser-)Strahls zugeordnet sind.

10. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwertaufnehmer (Schlitze 49, Durchgangsbohrungen 55, 56) als Übertragungsorgan ausgewählter Teilbereiche des (Laser-)Strahls zu Meßwertumformern (Detektoren 53, 59, 61) ausgebildet sind.

11. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß dem Umlenkspiegel (26) und dem Fokussierspiegel (27) ein Wärmewiderstand (39, 40) zugeordnet ist zur Messung der Leistung des (Laser-)Strahls, der zwischen einer Rückseite (41) der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) und einer dahinter angeordneten Kühlung (Deckel 32, 33) angeordnet ist.

12. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die mit der Rückseite (41) der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) und der Kühlung (Deckel 32, 33) nicht in Berührung stehenden Flächen der Wärmewiderstände (39, 40) durch entsprechende Freimachungen außer Kontakt mit benachbarten Flächen gebracht sind.

13. Bearbeitungsoptik des Anspruchs 11, dadurch gekennzeichnet, daß an einer zum Fokussierspiegel (27) bzw. Umlenkspiegel (26) gerichteten Kontaktfläche (43) des jeweiligen Wärmewiderstandes (39, 40) Fühlerspitzen entsprechender Detektoren angeordnet sind zur Messung des Temperaturgradienten in den Wärmewiderständen (39, 40).

14. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 9 sowie einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) in ausgewählten Bereichen ihrer Spiegelflächen (36, 37) insbesondere als Schlitze (49) und/oder Durchgangsbohrungen (55, 56) ausgebildete Durchbrüche aufweisen zur Beaufschlagung entsprechender Meßwertumformer (Detektoren 53, 59, 61) mit die Durchbrüche überdeckende (Meß-)Bereiche des (Laser-)Strahls.

15. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei als Schlitze (49) ausgebildeten Durchbrüchen die Unterseite der Schlitze (49) derart (kreisbogenförmig) ausgebildet ist, daß Teilbereiche der in Längsrichtung des Spiegels (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) einfallenden (Laser-)Strahls von der Unterseite jedes Schlitzes (49) fokussiert und um 90° versetzt radial nach außen gespiegelt werden, wobei vorzugsweise jedem Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) wenigstens drei radialgerichtete und gleichmäßig auf die Spiegelfläche (36, 37) verteilt angeordnete Schlitze (49) zugeordnet sind, die ausgehend von der (äußeren) Mantelfläche der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) bis kurz vor den Mittelpunkt (50) desselben verlaufen, und zwar ohne zusammen zu treffen.

16. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß jedem Schlitz (49) ein im Gehäuse (30) angeordneter Detektor (53) zugeordnet ist, der im Bereich des Fokuspunktes (52) des von dem jeweiligen Schlitz (49) reflektierten Teilbereichs des (Laser-)Strahls angeordnet ist.

17. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die als Durchgangsbohrungen ausgebildeten Durchbrüche (55, 56) in den Spiegeln (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) rasterförmig auf die Spiegelfläche (36, 37) verteilt angeordnet sind, wobei die Durchgangsbohrungen (55, 56) vorzugsweise in Längsrichtung der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspiegel 27) und/oder quer dazu verlaufen.

18. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 17 sowie einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehreren in einer Hälfte der Spiegelflächen (36, 37) der Spiegel (Umlenkspiegel 26, Fokussierspiegel 27) auf einer radialen Linie liegende Durchgangsbohrungen (55, 56) ein gemeinsamen Detektor (59, 61) zugeordnet ist.

19. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 13 sowie einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßwertaufnehmer dienende Sensoren (63) auf der Spiegelfläche (36, 37) der Spiegel (Umlenkspiegel 26; Fokussierspie-

gel 27) angeordnet sind, vorzugsweise erhaben oder bündig auf der Spiegelfläche (36, 37) aufgebracht sind.

20. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, vorzugsweise vier, Sensoren (63) aus insbesondere U-förmig gewundenen Drahtschleifen gleichmäßig radialverlaufend verteilt auf der Spiegelfläche (36, 37) der Spiegel (Umlenkspiegel 26, Fokussierspiegel 27) angeordnet sind.

21. Bearbeitungsoptik nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Leitern (Draht, Metall schicht) der Sensoren (63) und der Spiegelfläche (36, 37) eine Isolierschicht angeordnet ist, vorzugsweise aus einem gleichzeitig zur Befestigung der Leiter dienender Kleber.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

8

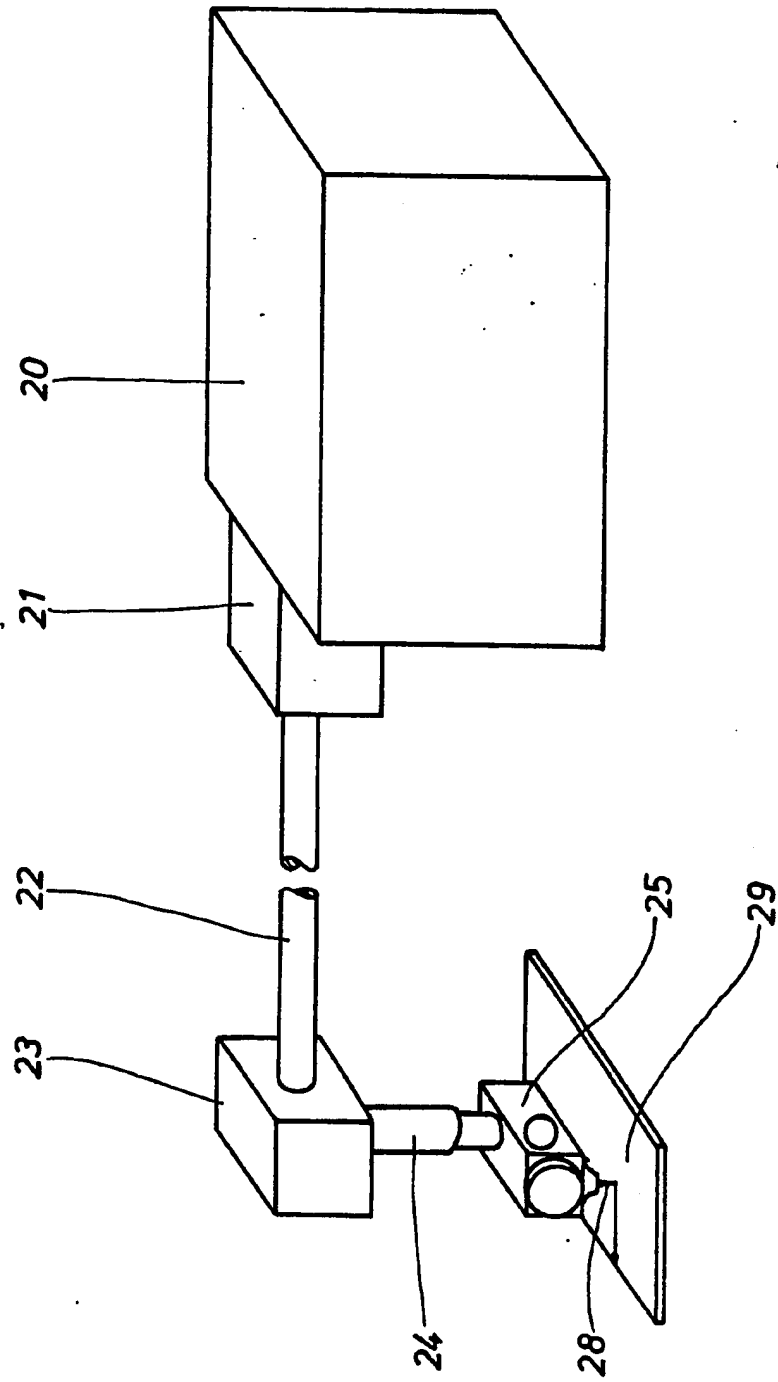


Fig. 1

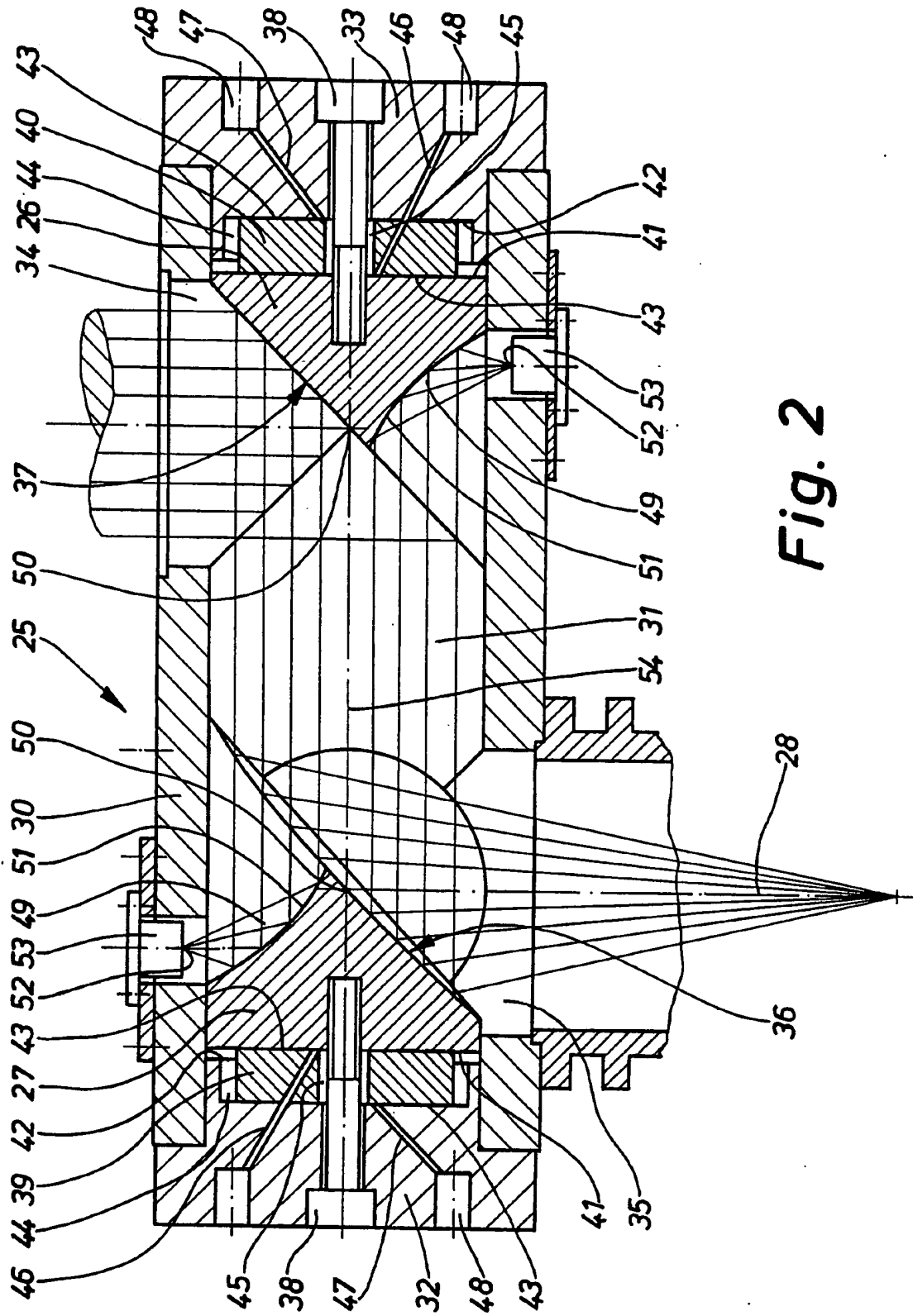


Fig. 2

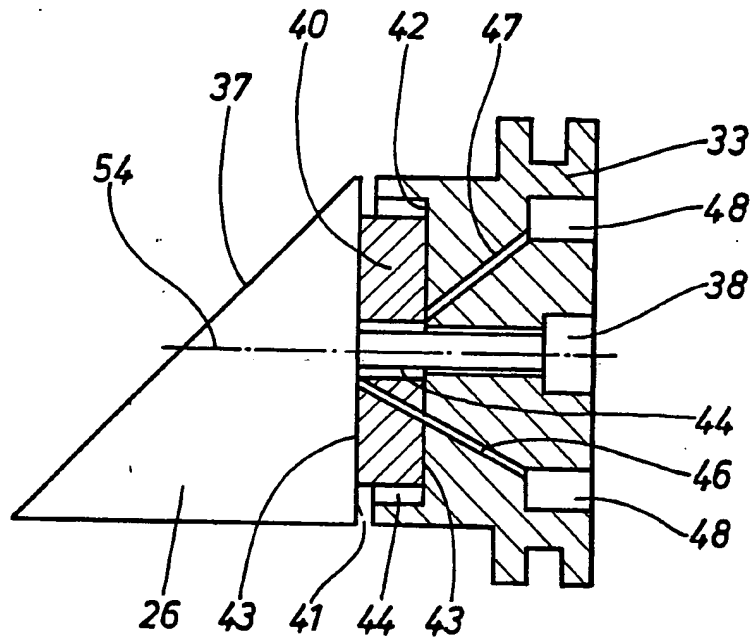


Fig. 3

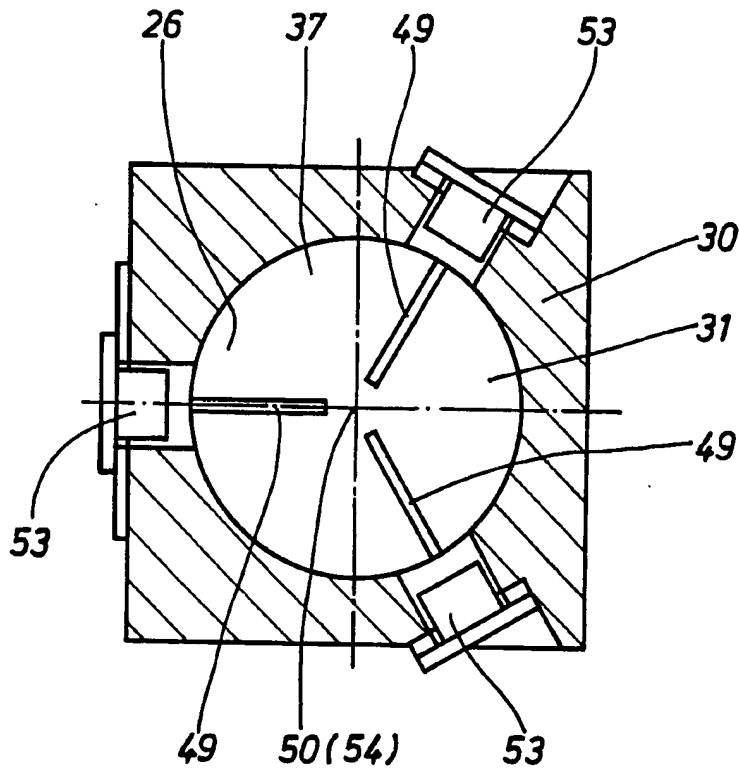


Fig. 4

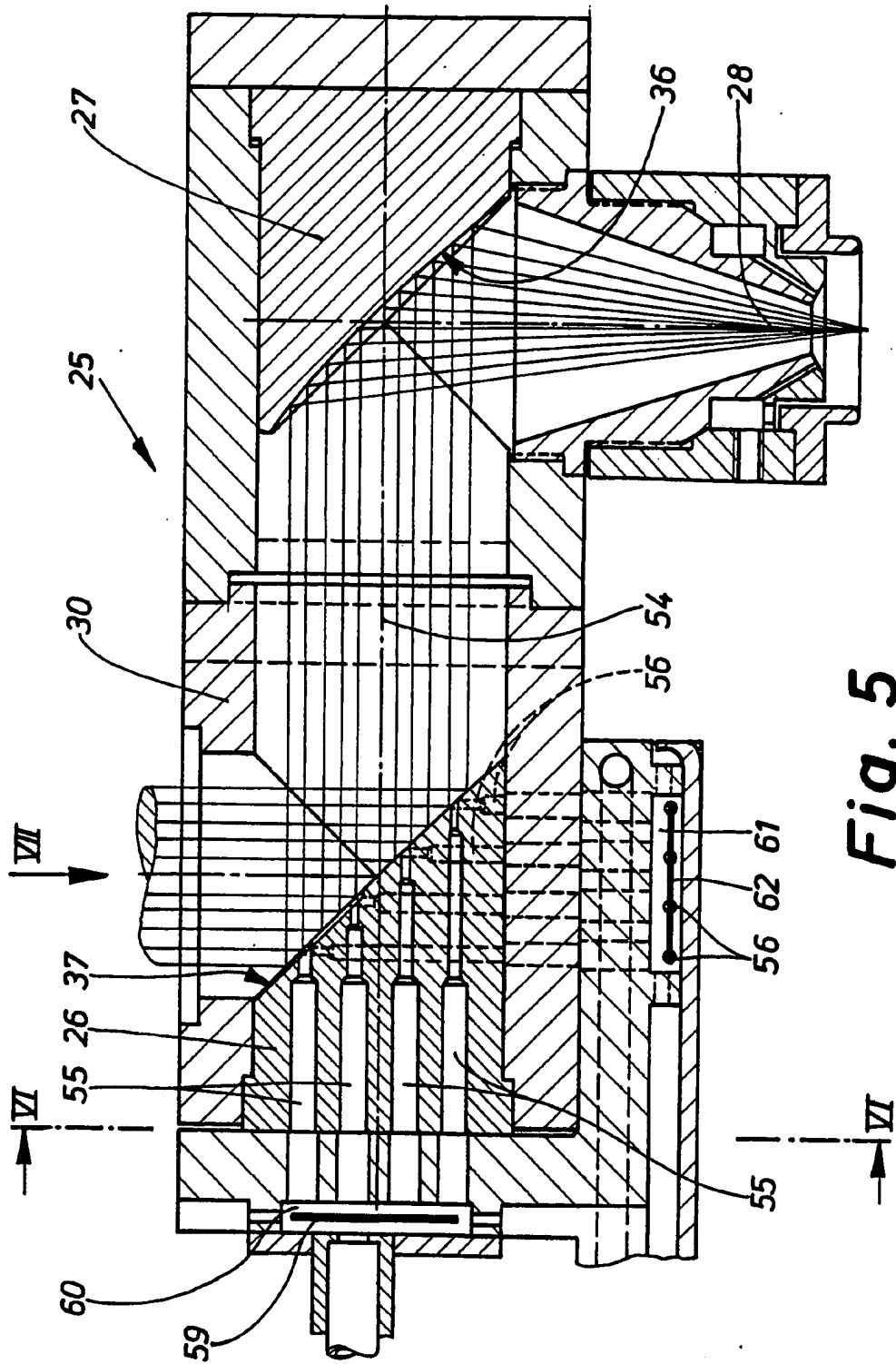
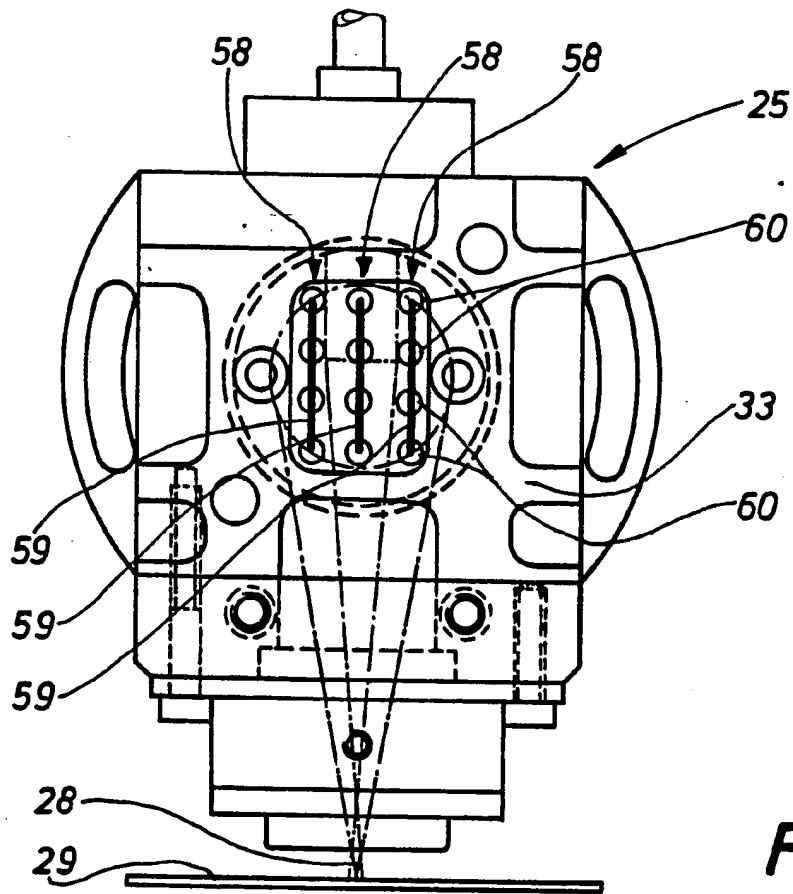
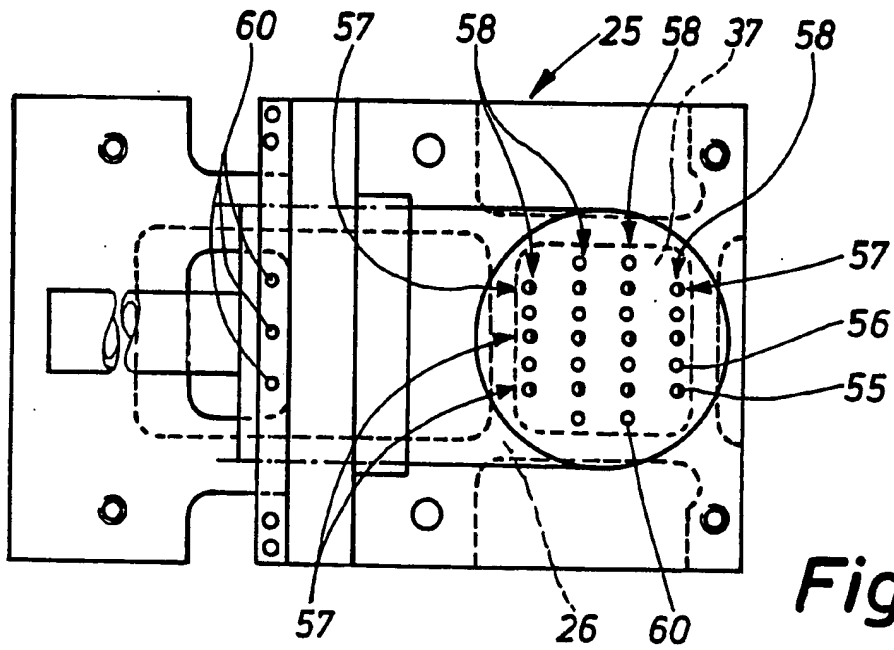


Fig. 5



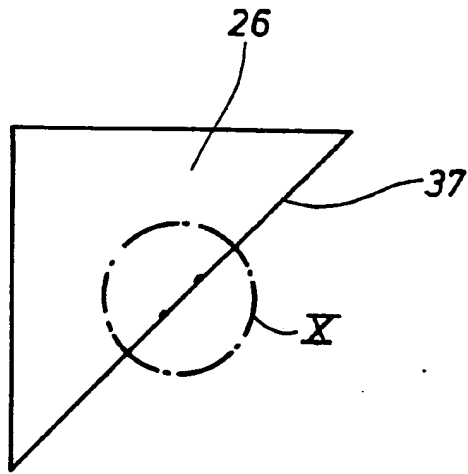


Fig. 8

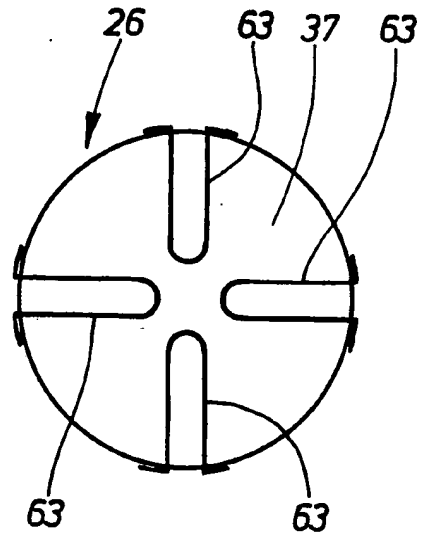


Fig. 9

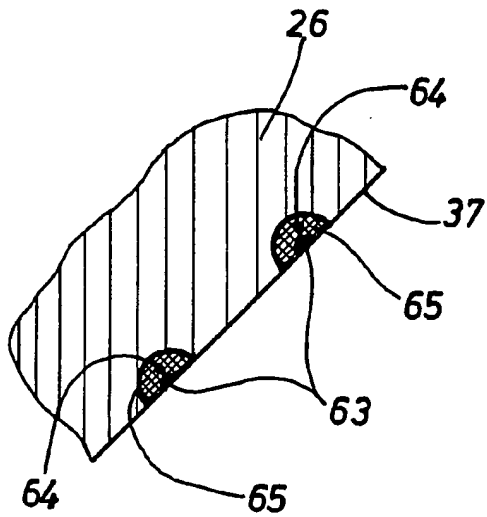


Fig. 10

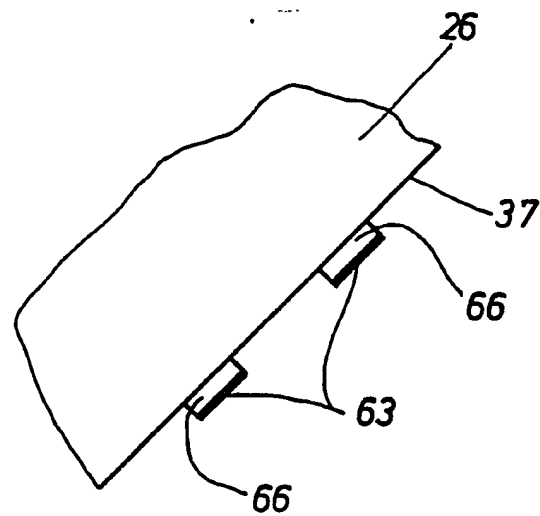


Fig. 11